第65卷 第6期　　天 文 学 报　　Vol. 65 No. 6
2024年11月　　ACTA ASTRONOMICA SINICA　　Nov., 2024

doi: 10.15940/j.cnki.0001-5245.2024.06.008

RFSOC电磁辐射量级评估*

汪子悦[1]　李 蓉[1]　刘 奇[2†]　董晓玉[2]　马 凌[2]　蔡明辉[2]　苏晓明[2]

(1 杭州电子科技大学工程机械学院 杭州 310018)
(2 中国科学院新疆天文台 乌鲁木齐 830011)

摘要 射频片上系统(Radio Frequency System-On-Chip, RFSOC)作为一种高集成度、高性能、低功耗的单芯片系统, 在射电天文领域尤其是望远镜数字后端的应用前景广阔. 射电望远镜对电子设备电磁兼容性要求极高, 高速率、高频率的RFSOC在运行过程中将产生严重的辐射干扰问题. 针对RFSOC干扰源众多、不同干扰源间辐射强度难以量化等问题, 在部件层面提出了一种辐射量级的评估方法, 分析不同部件的辐射强度及其影响. 并进一步从板级整体层面评估分析RFSOC不同工作状态下的电磁辐射, 依据望远镜电磁兼容设计要求, 分析其电磁防护需求, 为进一步的电磁防护提供重要技术支撑.

关键词 望远镜: 射电望远镜, 仪表: 终端, 方法: 测量与评估, 技术: 电磁兼容

中图分类号: P111;　**文献标识码**: A

1 引言

数字后端系统作为射电望远镜的重要组成部分, 主要负责信号的数字化、信号处理以及数据传输. 受工艺等因素限制, 早期天文后端系统通常使用定制设计的模数转换器(Analog to Digital Conver and Digital to Analog Conver, ADC/DAC)和专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC). 目前, ASIC基本上已经被现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array, FPGA)所取代, 但是FPGA仍需要中央处理器(Central Processing Unit, CPU)来提供控制, FPGA、ADC/DAC、CPU等器件保持独立存在. 这种分立式的电路系统通常比较庞大、复杂、功耗高, 其成本和电气性能往往也难以保证[1].

随着近年来晶体管工艺技术的不断提高, 已经有很多芯片的晶体管规模达到上亿量级, 片上系统(System-On-Chip, SOC)的出现将FPGA和CPU内核集成到单一芯片上, 轻松实现了可编程的软件控制[2]. FPGA制造商赛灵思(Xilinx)则通过集成直接RF (Radio Frequency)采样技术取代分立数据转换器, 将高性能ADC/DAC集成到SOC中从而生产出RFSOC (Radio Frequency System-On-Chip)[3], 自此射电天文后端系统设计所需的关键器件功能已全部整合在一个封装中.

RFSOC同时集成高性能ADC/DAC、CPU和FPGA、ARM (Advanced RISC Machine)微处理器等资源[4]. 第一代RFSOC在远低于分立设计50%–75%的功耗和封装尺寸的基础上, 采样速度高达5.0千兆采样每秒(GSPS)[2], ADC的总带宽可达16.4 GHz[5], 单芯片最多可实现8路5.0 GSPS、14位或16路2.5 GSPS、14位采样.

RFSOC优异的性能与集成度为在单板上实现完整的射电天文接收机提供了可能性, 目前已有许多天文研究机构在开展基于RFSOC的天文信

2023-09-15收到原稿, 2023-10-18收到修改稿

*国家自然科学基金项目(11973077), 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2021D01E07)资助

†liuqi@xao.ac.cn

号处理技术的研究[6–10]. 其中Liu等[2]评估了Xilinx ZU28DR RFSOC中数据转换器的性能, 并利用浮点运算捕获数据进行离线分析, 在RFSOC上实现了实时整数运算频谱仪, 证明了ADC的性能足以满足射电天文学应用; Steiner等[11]利用RFSOC平台为天文宽带相控阵系统设计了一种宽带均衡器来解决高保真补偿技术问题; Smith等[12]提供了一种在不直接使用硬件描述语言的情况下在片上系统架构上运行过采样多相滤波信道化器的方法.

奇台射电望远镜(Qi Tai radio Telescope, QTT)[13–14]工作带宽为150 MHz–115 GHz. 数字后端信号采集与预处理系统方案拟采用RFSOC进行集成开发, 采样速率为4.096 GSPS, 量化精度为12 bit. QTT数字后端系统的框图如图1所示, RFSOC安装于QTT主焦点和格里高利焦点, 并采用射频直采技术将数据通过光纤传输至高性能计算机进行进一步的处理, 图中HPC (High Performance Computing)为高性能计算, RF sig.为RF信号. 然而, QTT焦点附近的电子设备电磁兼容性要求极高[15], 这使得RFSOC电磁干扰评估与电磁防护设计存在技术挑战. 本文拟从RFSOC内部部件及系统整体层面进行其电磁干扰评估与分析, 为进一步的电磁防护提供重要技术支撑.

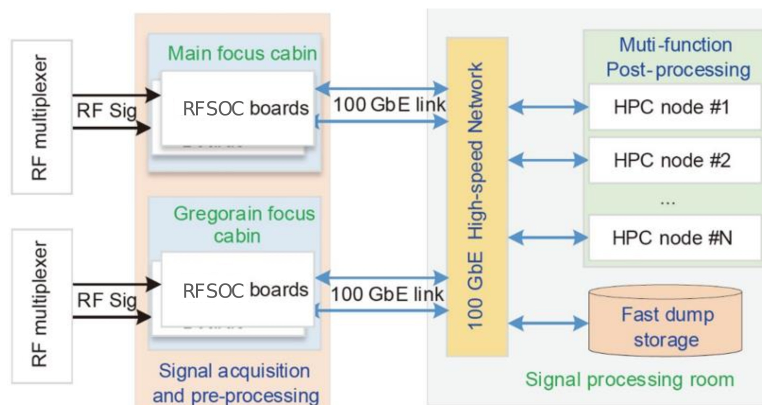


图 1　QTT数字后端系统的框图[13]

Fig. 1　A block diagram of the QTT digital backend system[13]

2　HTG-ZRF8开发板

为分析RFSOC的电磁干扰问题, 以实验室正在用的HTG-ZRF8开发板为例, 浅析其主要组成及潜在的电磁兼容问题. HTG-ZRF8开发板采用ZU28DR RFSOC芯片, 支持8个12位ADC (4 GSPS)、8个14位DAC (6.4 GSPS)端口以及这些端口的高性能前面板微型射频连接器, 开发板配备了72位ECC DDR4 SODIMM插槽, 提供高达16 GB的内存和更快的记忆速度, 处理器则支持高达2 GB的DDR4内存. HTG-ZRF8开发板主要部件如图2所示, 可以看出, 相比于一般的集成电路, HTG-ZRF8开发板在更小的体积下, 实现了功能的多样化和性能的飞跃, 这也意味着开发板的整体结构与电路将会变得更加复杂. 特别是以ZU28DR芯片为首的高速率、高频率和高复杂度的板级器件, 其承载的高速信号中蕴含丰富的高频分量, 这些频率分量将会通过潜在电路结构形成的缝隙、振子和等效天线向外辐射或泄露, 产生较强的电磁辐射. 射电望远镜是一个包含天线高功率驱动分系统、高灵敏度接收机、数据处理、数据传输及控制分系统在内的复杂系统, RFSOC产生的电磁辐射最终会通过耦合作用进入这些敏感设备中, 继而对系统运行和天文观测产生严重影响.

为了有效分析RFSOC自身电磁兼容性, 本文将从RFSOC内部部件与板级整体两个层面进行电磁干扰评估. 即, 首先在内部部件层面, 评估分析部

件的电磁辐射量级, 分析不同部件的辐射强度及其影响, 并根据干扰级别给出对应的防护手段. 此外, 在板级整体层面, 评估分析RFSOC不同工作状态下的电磁辐射, 并依据望远镜电磁兼容设计要求, 分析其电磁防护需求.

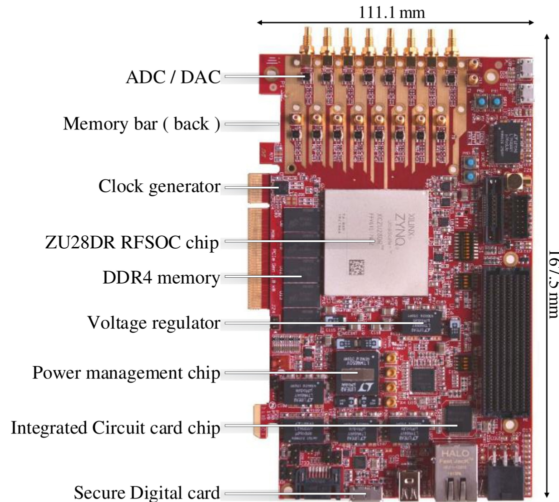


图 2　HTG-ZRF8开发板部件图

Fig. 2　HTG-ZRF8 development board component diagram

3　RFSOC内部部件电磁辐射评估

3.1　辐射发射测量与分析

为分析RFSOC内部部件电磁干扰, 采用近场测量法在电波暗室内部对不同模块辐射发射特性进行测量, 测试方案示意图如图3 (a)所示. 图3 (b)为待测的RFSOC开发板内部部件示意图, 通过将近场探头接近部件进而测量部件的辐射发射, 并记录至部件编号对应的频谱.

依照上述方法, 以HTG-ZRF8开发板为测试对象, 在开发板正常工作状态下, 测量各部件的辐射发射频谱, 典型部件的辐射发射频谱如图4所示. 对比图中不同部件辐射频谱可知, 频谱主要包含宽带噪声干扰与窄带干扰, 且不同部件的辐射特性差异明显. 例如以太网IC芯片以宽带噪声和窄带信号混合为主(见图4 (a)), ADC/DAC模块则是以发射周期性的强窄带干扰为主(见图4 (b)), 外接内存模块以发射周期性的宽带噪声为主(见图4 (c)), RFSOC芯片则是在某些特定的频段内存在较强的辐射(见图4 (d)). 此外, 不同频段干扰存在差异, 宽带噪声通常处于低频段, 即不同部件间的辐射特征与强度并不相同. 为了全面评估RFSOC内部部件的辐射发射量级, 拟对部件辐射频谱中宽带噪声与窄带信号分别进行评估分析, 并通过量化分析部件电磁干扰的差异性, 为部件电磁兼容设计提供支持.

将所测部件的辐射发射频谱记录至数组$\boldsymbol{P}$中, 公式如下:

$$\boldsymbol{P}=\boldsymbol{P}\left(\boldsymbol{F}[n],\boldsymbol{V}[n]\right), \tag{1}$$

(1)式中, $\boldsymbol{F}[n]$为频率, $\boldsymbol{V}[n]$为频率点对应功率值, n为测量的频点个数.

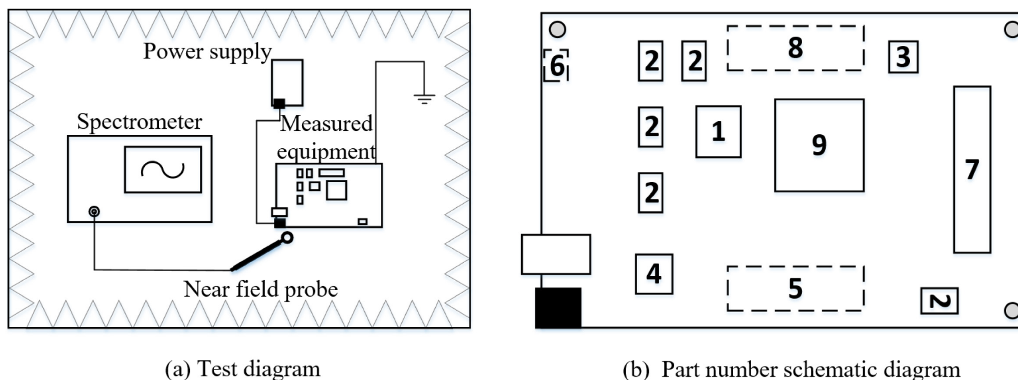


图 3　近场测试方案与测试对象示意图

Fig. 3　Near-field test scheme and the schematic diagram of test object

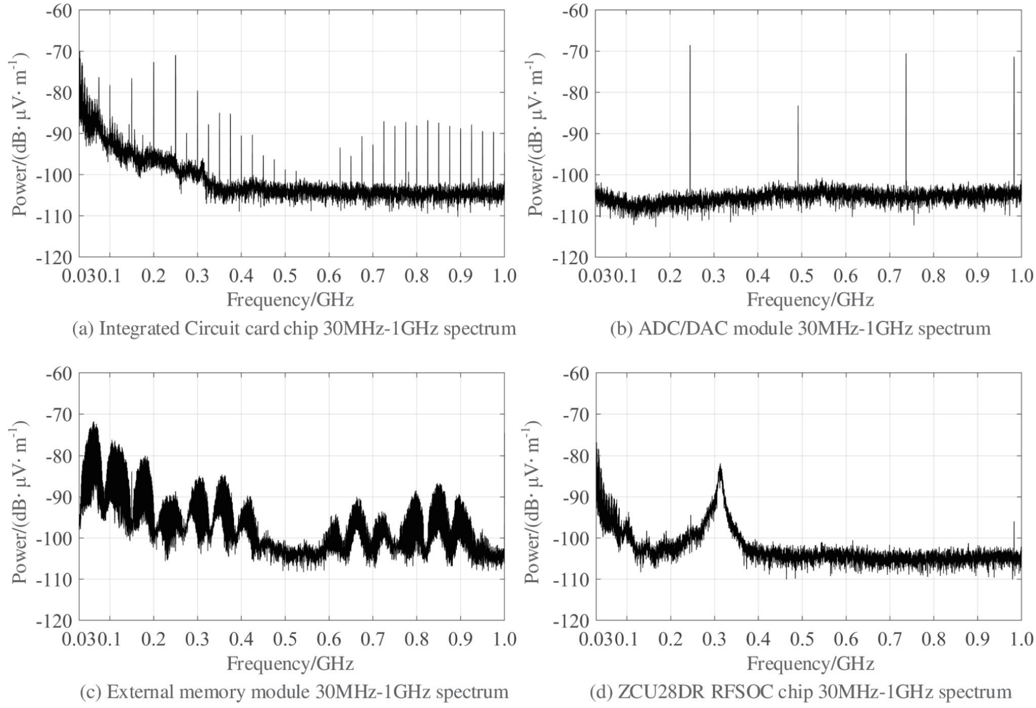


图 4　HTG-ZRF8开发板部件的典型频谱

Fig. 4　Typical spectrum of HTG-ZRF8 development board components

在RFSOC处于关闭状态下, 将近场探头放置于电路中心位置, 通过信号分析仪记录电波暗室环境噪声$\boldsymbol{P}_{\rm L}$, 表达式见(2)式, 式中$\boldsymbol{V}_{\rm L}[n]$为频率点对应的功率值.

$$\boldsymbol{P}_{\rm L} = \boldsymbol{P}_{\rm L}\left(\boldsymbol{F}[n], \boldsymbol{V}_{\rm L}[n]\right) . \tag{2}$$

3.2　电磁辐射量级评估

依据上述分析, 考虑到部件的电磁辐射频谱以宽带噪声与窄带信号两种形式存在, 拟对频谱中的宽带噪声与窄带信号进行分离, 进而评估两种干扰形式的辐射量级. 对于给定电路板部件辐射频谱$\boldsymbol{P}$以及背景噪声频谱$\boldsymbol{P}_{\rm L}$, 根据频谱的中值$\boldsymbol{M}[n]$与标准差$\boldsymbol{A}[n]$计算其信噪分离阈值$\boldsymbol{P}_{\rm b}$如下:

$$\begin{aligned}\boldsymbol{P}_{\rm b} &= \boldsymbol{P}_{\rm b}\left(\boldsymbol{F}[n], \boldsymbol{V}_{\rm b}[n]\right) \\ &= \boldsymbol{P}_{\rm b}\left(\boldsymbol{F}[n], \boldsymbol{M}[n] + 3\boldsymbol{A}[n]\right) ,\end{aligned} \tag{3}$$

其中$\boldsymbol{V}_{\rm b}[n]$为电路板部件功率值组成的数组. 电波暗室环境噪声阈值$\boldsymbol{P}_{\rm B}$如下:

$$\begin{aligned}\boldsymbol{P}_{\rm B} &= \boldsymbol{P}_{\rm B}\left(\boldsymbol{F}[n], \boldsymbol{V}_{\rm B}[n]\right) \\ &= \boldsymbol{P}_{\rm B}\left(\boldsymbol{F}[n], \boldsymbol{M}_{\rm L}[n] + 3\boldsymbol{A}_{\rm L}[n]\right) .\end{aligned} \tag{4}$$

其中$\boldsymbol{M}_{\rm L}[n]$和$\boldsymbol{A}_{\rm L}[n]$分别为环境噪声频谱的中值与标准差, $\boldsymbol{V}_{\rm B}[n]$为环境噪声功率组成的数组.

依据测量获得的部件辐射发射频谱$\boldsymbol{P}$、分离阈值$\boldsymbol{P}_{\rm b}$以及环境噪声频谱$\boldsymbol{P}_{\rm B}$, 对比$\boldsymbol{V}$和$\boldsymbol{V}_{\rm b}$, 获得宽带噪声$\boldsymbol{P}_{\rm W}$和窄带信号$\boldsymbol{P}_{\rm N}$. 宽带噪声$\boldsymbol{P}_{\rm W}(\boldsymbol{F}[n], \boldsymbol{V}_{\rm W}[n])$中: $\boldsymbol{V}_{\rm W}[n]$为宽带噪声的功率值数组, 其计算公式见(5)式和(6)式, 其中$V_{{\rm W}n}$为宽带噪声频谱第n个频率点对应功率值, V_n为部件发射频谱第n个频率点对应功率值, $V_{{\rm b}n}$为分离阈值第n个频率点对应功率值:

$$\boldsymbol{V}_{\rm W}[n] = [V_{\rm W1}\ \ V_{\rm W2}\ \ \cdots\ \ V_{{\rm W}n}] . \tag{5}$$

$$V_{{\rm W}n} = \begin{cases} V_n\,, & V_n \leqslant V_{\rm b}\,, \\ V_{{\rm b}n}\,, & V_n > V_{{\rm b}n}\,, \end{cases} \tag{6}$$

窄带信号$\boldsymbol{P}_{\rm N}(\boldsymbol{F}[n], \boldsymbol{V}_{\rm N}[n])$中: $\boldsymbol{V}_{\rm N}[n]$为窄带信号的功率值数组, 其计算公式见(7)式和(8)式, 其中$V_{{\rm N}n}$为窄带信号频谱第n个频率点对应功率值,

$V_{\mathrm{B}n}$为环境噪声频谱第n个频率点对应功率值:

$$\boldsymbol{V}_{\mathrm{N}}[n] = [V_{\mathrm{N1}}\ \ V_{\mathrm{N2}}\ \ \cdots\ \ V_{\mathrm{N}n}]\ . \tag{7}$$

$$V_{\mathrm{N}n} = \begin{cases} V_{\mathrm{B}n}\,, & V_n \leqslant V_{\mathrm{b}}\,, \\ V_n\,, & V_n > V_{\mathrm{b}n}\,. \end{cases} \tag{8}$$

频谱只是辐射的一种表现形式, 为了进一步量化辐射的强度, 需要引入信噪比(Signal to Interference plus Noise Ratio, SINR)这个指标. 信噪比的定义为信号功率幅值与底噪功率幅值的比值, 其大小直接反映了信号的强度, 常被用作评估信号的强弱. 首先计算宽带噪声信噪比$\Delta\boldsymbol{V}_{\mathrm{W}}[n]$, 因频谱幅值以对数形式存在, 信噪比计算如下:

$$\begin{aligned}\Delta\boldsymbol{V}_{\mathrm{W}}[n] &= \boldsymbol{V}_{\mathrm{W}}[n] - \boldsymbol{V}_{\mathrm{L1}}[n] \\ &= [\Delta V_{\mathrm{W1}}\ \ \Delta V_{\mathrm{W2}}\ \ \cdots\ \ \Delta V_{\mathrm{W}n}]\ ,\end{aligned} \tag{9}$$

其中$\Delta V_{\mathrm{W}n}$为第n个频率点对应功率值. 在辐射干扰量级的评估中, 随着信噪比的增加, 辐射的强度等级是逐级递增的. 因此还需赋予信噪比因子随大小增加的权重系数, 并对其加权平均, 即可定义电子设备的宽带噪声干扰等级$\boldsymbol{E}_{\mathrm{W}}[n]$, 权重$y$的表达式为(10)式, 宽带噪声干扰等级$\boldsymbol{E}_{\mathrm{W}}[n]$的表达式为(11)式:

$$y = \tau^{\Delta V}\,, \tag{10}$$

$$\boldsymbol{E}_{\mathrm{W}}[n] = \left[\frac{\tau^{V_{\mathrm{W1}}}\times\Delta V_{\mathrm{W1}}}{\sum(\tau^{V_{\mathrm{W}n}})}\ \frac{\tau^{V_{\mathrm{W2}}}\times\Delta V_{\mathrm{W2}}}{\sum(\tau^{V_{\mathrm{W}n}})}\ \cdots\ \frac{\tau^{V_{\mathrm{W}n}}\times\Delta V_{\mathrm{W}n}}{\sum(\tau^{V_{\mathrm{W}n}})}\right], \tag{11}$$

其中ΔV为噪声干扰的信噪比, τ为待定系数, 用以描述信噪比大小与噪声干扰间的数学关系. 干扰的信噪比越大, 其强度与屏蔽难度就越大, 因此在电磁辐射量级的评估过程中所占权重就更大. 为了描述这种关系, 依据工程经验并结合电波暗室实测电子设备辐射发射数据统计, 将信噪比小于5 dB的信号定义为微弱信号, 影响最小; 信噪比为20 dB左右的信号定义为较弱信号, 信噪比在35 dB的信号定义为较强信号, 信噪比为50 dB的信号定义为极强信号. 依据上述统计结果, 采用专家评分法对干扰信号进行打分, 将信噪比为50 dB的信号作为满分, 结果见表1.

表 1 不同信噪比噪声的干扰评分

Table 1 Interference scores of noise with different signal-to-noise ratios

SINR/dB	5	20	35	50
score	1	2	5	10

通过(10)式拟合表1数据, 结果如图5所示, 当$\tau = 1.047$时拟合曲线的和方差最小, 拟合效果最好. 因此确定宽带干扰系数$\tau = 1.047$.

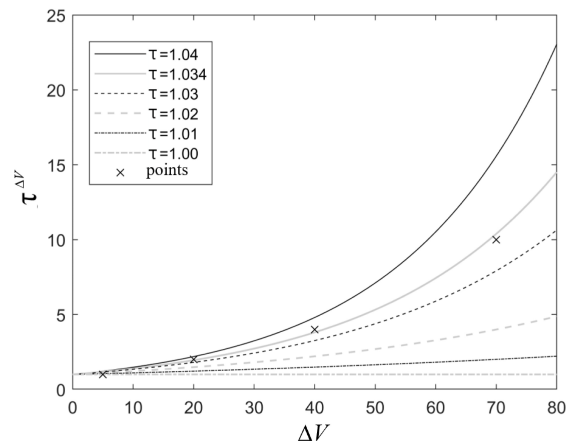


图 5 信噪比-权重图

Fig. 5 Signal-to-noise ratio-weight diagram

在电磁干扰测量与评估过程中, 通常存在大量频点数据. 为了数据分析的简洁性与直观性, 将宽带噪声干扰等级$\boldsymbol{E}_{\mathrm{W}}[n]$划分为$B$个频段, 每个频段内包含$j$个频点:

$$n = B\times j\,, \tag{12}$$

$$\boldsymbol{E}_{\mathrm{W}}[n] = \begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_{\mathrm{W}_{11}} & \cdots & \boldsymbol{E}_{\mathrm{W}_{1j}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \boldsymbol{E}_{\mathrm{W}_{B1}} & \cdots & \boldsymbol{E}_{\mathrm{W}_{Bj}} \end{bmatrix}. \tag{13}$$

然后按照下式对每个频段内数据求和得到宽

带噪声干扰等级的分段形式$\boldsymbol{E}_{\mathrm{ZW}}[n]$:

$$\boldsymbol{E}_{\mathrm{ZW}}[n] = \begin{bmatrix} \sum(\boldsymbol{E}_{\mathrm{W}_{1j}}) \\ \sum(\boldsymbol{E}_{\mathrm{W}_{2j}}) \\ \vdots \\ \sum(\boldsymbol{E}_{\mathrm{W}_{Bj}}) \end{bmatrix} . \quad (14)$$

计算完全部s个电子设备电磁辐射的宽带噪声干扰等级后, 电子设备宽带噪声总干扰等级矩阵$\boldsymbol{W}_{\mathrm{W}}[s]$可表示为:

$$\boldsymbol{W}_{\mathrm{W}}[s] = \begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_{\mathrm{ZW}_1} \\ \boldsymbol{E}_{\mathrm{ZW}_2} \\ \vdots \\ \boldsymbol{E}_{\mathrm{ZW}_s} \end{bmatrix} . \quad (15)$$

窄带信号的计算步骤与宽带噪声相同, 只是初始频谱数据不同, 不再赘述.

3.3 实例评估分析

针对QTT所使用的Xilinx HTG-ZRF8开发板, 采用近场测量的方式, 使用探头测量电子设备内部部件的辐射发射频谱, 测量频率为30 MHz–1 GHz, 并依照第3.2节提出的评估方法进行计算. 最终获得RFSOC上9种主要干扰部件的宽带噪声干扰等级$\boldsymbol{W}_{\mathrm{W}}$、窄带信号干扰等级$\boldsymbol{W}_{\mathrm{N}}$, 如图6所示, 图中频段1为30–100 MHz, 其他频段带宽均为100 MHz.

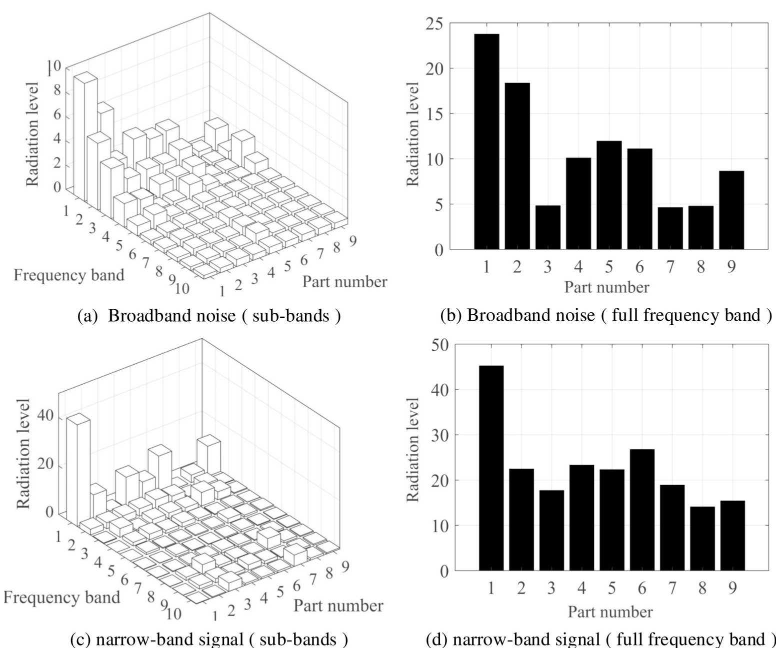
从图6可以看出, 从频段上讲, 宽带噪声和窄带信号的干扰主要都集中于低频段(30–200 MHz), 特别是窄带信号干扰, 其第1频段(30–100 MHz)辐射干扰量级远高于其他频段. 而从分布上讲, 窄带信号的干扰普遍存在于各个部件中, 宽带噪声干扰则只在某些部件中有较高的辐射量级. 这是因为RFSOC开发板上大多部件的正常工作都依赖于时钟芯片, 而时钟信号与其谐波信号则是窄带信号产生的主要原因之一, 因此所有部件都存在一定的窄带辐射; 宽带噪声的辐射量级则是由部件的功率与内部结构共同决定的.

依据图6中部件干扰量级评估结果可以得出, RFSOC内部模块的重点防护频段为500 MHz以下, 其中电源管理模块(部件1)和电源稳压模块(部件2)的宽窄带干扰量级较高, 其次是SD模块, 内存条模块以及IC芯片. 对于板级电磁防护设计, 建议重点针对以上部件进行防护, 可加装屏蔽罩、加贴屏蔽材料等措施减少辐射量级较大模块的影响.

4 RFSOC板级电磁干扰评估分析

在板级电磁干扰评估方面, 需要测量RFSOC整体的辐射发射特性, 评估其对天文观测的影响, 进而确定其电磁防护需求. 辐射发射测量依据GJB151B-2013《军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求与测量》标准, 在电波暗室内进行, 测量频率为150 MHz–6 GHz. 为提高测量精度, 对开发板待机工作状态和加载程序(正常工作)状态进行测量, 测量结果如图7所示. 此外, 考虑到RFSOC将安装于QTT格里高利焦点和主焦点接收机房内部, 依照文献[16]给出的大口径射电望远镜电磁兼容控制方法, 计算出上述两个焦点处干扰电平阈值. 在此基础上, 扣除格里高利焦点和主焦点接收机房整体屏蔽效能50 dB的影响, 进而计算出两个焦点接收机房内部电子设备的干扰电平限值(见图7中横折线).

从图7可以看出, RFSOC正常工作状态辐射量级略高于待机状态, 在高频段垂直极化时尤为明显, 如在5–6 GHz频段垂直极化时, 运行中的RFSOC板块噪声明显高于待机状态, 有着5 dB左右的提升. RFSOC在低频段尤其是700 MHz频率以下存在较大的噪声干扰, 辐射最大值超出主焦点接收机房限值51 dB, 超出格里高利焦点接收机房限值22 dB. 在1–6 GHz频段, RFSOC的干扰形式主要为窄带干扰, 噪声整体略有抬高, 辐射最大值超出主焦点接收机房限值59 dB, 超出格里高利焦点接收机房限值63 dB. 综上分析, 考虑到测量不确定度及干扰裕度, RFSOC安装于屏蔽后的接收机房, 其电磁屏蔽设计需大于70 dB, 可满足QTT电磁兼容控制要求.

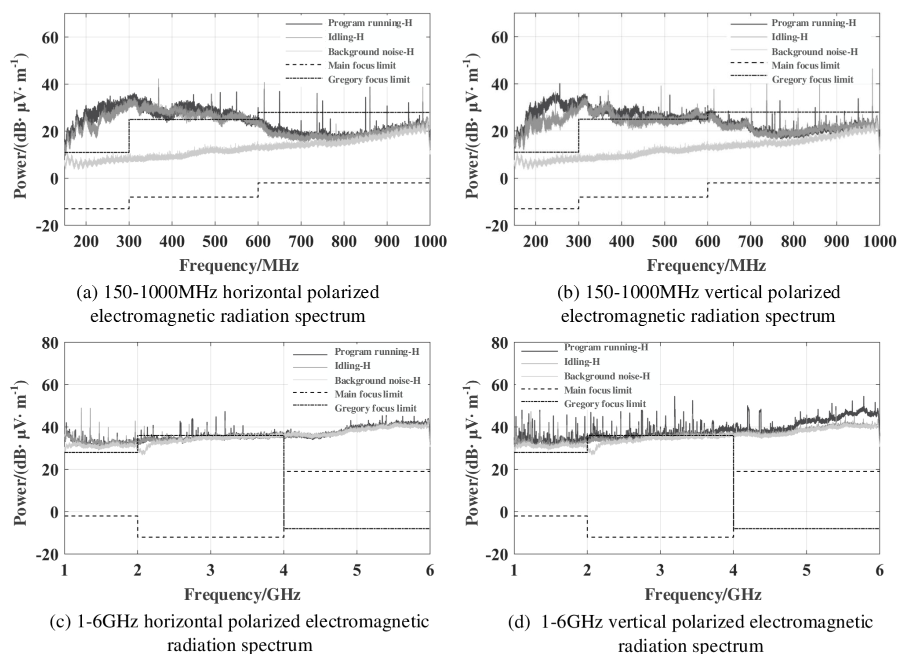


(a) Broadband noise (sub-bands) (b) Broadband noise (full frequency band)

(c) narrow-band signal (sub-bands) (d) narrow-band signal (full frequency band)

图 6 RFSOC部件宽窄带辐射干扰等级

Fig. 6 Wide and narrow band radiation interference level of RFSOC components



(a) 150-1000MHz horizontal polarized electromagnetic radiation spectrum (b) 150-1000MHz vertical polarized electromagnetic radiation spectrum

(c) 1-6GHz horizontal polarized electromagnetic radiation spectrum (d) 1-6GHz vertical polarized electromagnetic radiation spectrum

图 7 开发板不同状态水平垂直极化电磁辐射频谱比对

Fig. 7 Horizontal and vertical polarization electromagnetic radiation spectrum comparison of development board in different states

5 结论

本文从内部部件与板级整体两个层面对RFSOC进行了电磁干扰的评估. 在内部部件层面, 提出了一种部件辐射量级的计算方法, 通过评估RFSOC内部部件的电磁辐射量级分析不同部件的辐射强度及其影响, 并根据干扰等级提出对应的防护策略. 在板级整体层面, 评估分析RFSOC不同工作状态下的电磁辐射, 并依据望远镜电磁兼容设计要求, 分析其电磁防护需求. 该方法能够有效地评估RFSOC的辐射干扰, 为射电天文望远镜的电磁防护提供重要技术支撑.

致谢 感谢审稿人对文章提出的宝贵建议, 使得文章的质量有了显著的提高.

参考文献

[1] 李晓强. 基于RFSOC系统的频率合成器的研究. 天津市: 天津理工大学, 2018: 9
[2] Liu C, Jones M E, Taylor A C. MNRAS, 2021, 501: 5096
[3] 吴淘锁, 邬海峰. 信息技术与信息化, 2015: 148
[4] 聂俊, 裴鑫, 王娜, 等. 中国科学: 物理学力学天文学, 2017, 47: 114
[5] Ariyarathna V, Madanayake A, Jornet J M. Real-time Digital Baseband System for Ultra-broadband THz Communication//45th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Buffalo: IEEE, 2020, 1: 2
[6] Baldwin E, Lucia M D, Bracken C, et al. X-Ray, Optical, and Infrared Detectors for Astronomy IX. Washington: SPIE, 2020, 11454: 580
[7] Stefanazzi L, Treptow K, Wilcer N, et al. RSI, 2022, 93: 4
[8] Bradley D C, Jamison-Hooks T L, Staguhn J. JATIS, 2021, 7: 011018
[9] Sinclair A K, Stephenson R C, Hoh J, et al. Millimeter, Submillimeter, and Far-Infrared Detectors and Instrumentation for Astronomy X. Washington: SPIE, 2020, 11453: 63
[10] Pei X, Wang N, Werthimer D, et al. RAA, 2022, 22: 045016
[11] Steiner K, Yeary M. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2022, 58: 5519
[12] Smith J P, Bailey J I, Tuthill J, et al. IEEE OPEN J CIRCUITS, 2021, 2: 241
[13] Na W, Xu Q, Ma J, et al. Science China (Physics, Mechanics and Astronomy), 2023, 66: 154
[14] 张海龙, 张萌, 聂俊, 等. 中国科学: 物理学力学天文学, 2019, 49: 19
[15] 许清琳, 邱扬, 田锦, 等. 中国科学: 物理学力学天文学, 2019, 49: 112
[16] 刘奇, 王娜, 刘晔, 等. 中国科学: 物理学力学天文学, 2019, 49: 95

Evaluation of RFSOC Electromagnetic Radiation Magnitude

WANG Zi-yue[1] LI Rong[1] LIU Qi[2] DONG Xiao-yu[2] MA Ling[2] CAI Ming-hui[2] SU Xiao-ming[2]

(1 School of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018)
(2 Xinjiang Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011)

ABSTRACT As a single-chip system with high integration, high performance and low power consumption, RFSOC (Radio Frequency System-On-Chip) has broad application prospects in the field of radio astronomy, especially in the digital back-end of telescopes. Radio telescopes have extremely high electromagnetic compatibility requirements, and high-speed and high-frequency RFSOC will cause severe radiation interference during operation. Aiming at solving the problems of numerous RFSOC interference sources and difficulty in quantifying the radiation intensity between different interference sources, an evaluation method of radiation level is proposed at the component level. The radiation intensity and its influence of different components are analyzed, and the electromagnetic radiation of RFSOC under different working conditions is further evaluated and analyzed at the board level. According to the electromagnetic compatibility design requirements of the telescope, the electromagnetic protection requirements are analyzed to provide important technical support for further electromagnetic protection.

Key words telescopes: radio telescope, instrumentation: backend, methods: measurement and evaluation, techniques: EMC (Electromagnetic Compatibility)